



MIKA HANNUKSELA

Jokivesipumpun mitoitus

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä(t) Hannuksela, Mika	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä maaliskuu 2022
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Jokivesipumpun mitoitus		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan insinööritutkinto		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää millainen päävesipumppu Pori Energia Oy:n Aittaluodon voimalaitoksen jokivesipumpulle tulee hankkia, jotta se vastaa nykyistä veden käyttötarvetta ja käy suurimman osan ajasta optimaalisella teholla.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Pori Energia Oy:n Aittaluodon voimalaitoksen henkilöstön ja Afry Oy:n henkilöstön kanssa.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla nykyiseen järjestelmään ja perehtymällä aiheeseen liittyviin olemassa oleviin tiedostoihin ja dokumentteihin. Työtä varten vesijärjestelmällä suoritettiin muutamia koeajoja, joiden tuloksista saatiin tärkeää tietoa jokivesipumpun mitoitusta varten. Työssä perehdyttiin putkilinjan painehäviöihin ja virtausvastuksiin.</p> <p>Työn loppuvaiheessa tarkasteltiin, että millainen pumppu olisi sopivin voimalaitoksen tarpeisiin. Kun tiedettiin suurin piirtein, että millainen pumppu tarvitaan, lähetettiin tarjouspyyntö muutamille pumppuvalmistajille. Tarjouspyyntöä, tarjouksia, ja valittua pumppua ei käsitelty työssä tarkasti aiheen yksityisyyden johdosta.</p> <p>Työn tuloksena löydettiin nykyistä vedenkulutusta vastaava päävesipumppu jokivesipumppaamolle. Se tullaan asentamaan kevään 2022 aikana. Uusi pumppu parantaa pumppaamon käyttövarmuutta jatkossa.</p>		
Avainsanat voimalaitos, vesi, pumppu, putkisto, painehäviö		

Author(s) Hannuksela, Mika	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March 2022
	Number of pages 41	Language of publication: Finnish
Title of publication River water pump sizing		
Degree program Degree in Mechanical Engineering		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to find out what kind of a new main water pump should be purchased for Pori Energia Oy Aittaluoto Power Plant river water pumping station so that it meets the current needs of water consumption and runs at optimal efficiency most of the time.</p> <p>The thesis was done in collaboration with the personnel of Pori Energia Oy Aittaluoto Power Plant and the personnel of Afry Oy.</p> <p>The work started by getting acquainted with the current system and getting acquainted with the existing files and documents related to the topic. For the work, a few test runs were performed with the water system and the results provided important information for the sizing of the new river water pump.</p> <p>At the end of the work, when we knew what kind of pump was suitable, a request for quotation was sent to a few pump manufacturers. Due to the privacy, requests for quotations, offers and the selected pump are not mentioned in detail in the work.</p> <p>As a result of the work, a pump corresponding to the current water consumption was found. It will be installed during the spring of the year 2022. The new pump will improve the operational reliability of the river water pumping station.</p>		
Keywords power plant, water, pump, pipeline, pressure drop		

ALKUSANAT

Työ on tehty yhteistyössä Satakunnan ammattikorkeakoulun, Pori Energia Oy:n sekä Afry Oy:n kanssa. Opinnäytetyön toteutus tehtiin Aittaluodossa loppuvuodesta 2021. Haluan kiittää toimeksiantajayritystä kiinnostavasta opinnäytetyöaiheesta, Aittaluodon voimalaitoksen henkilökuntaa ja opinnäytetyön ohjaajaa Pekka Siréniä sekä työn ohjaaja Markku Santikkoa erinomaisista neuvoista ja nopeista vastauksista aiheeseen liittyvissä kysymyksissä. Kiitän myös Afry Oy:n Tenho Hätistä panoksesta, jonka hän on antanut aiheeseen liittyen.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 PORI ENERGIA OY	7
2.1 Yhtiö.....	7
2.2 Aittaluodon voimalaitos	7
3 SELVITYS NYKYISESTÄ JÄRJESTELMÄSTÄ	10
3.1 Jokivesipumppaamo	10
3.1.1 Sarlin pumput.....	11
3.1.2 Grundfos pumppu	13
3.2 Putkilinja	15
4 VIRTAUSTEKNIikka	16
4.1 Putkilinjan painehäviöt.....	19
5 VEDEN KÄYTTÖKOhteET	24
5.1 PaineKaivo	25
5.1.1 Sprinkleripumppaamo.....	25
5.2 Apujäähdyttäjä	26
5.3 Mekaaninen vedenkäsittely	26
6 YHTEENVETO	28
6.1 Valintavaihtoehdot	28
6.1.1 Pumpputyypit.....	29
7 TOTEUTUS JA OMA POHDINTA.....	33
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena mitoittaa uusi jokivesipumppu vastaamaan voimalaitoksen nykyistä vedentarvetta jokivesipumppaamalla. Opinnäytetyö aloitettiin tutkimalla kolmea nykyistä pumppua, putkilinjaa sekä veden käyttökohteita ja niiden kulutusta.

Kun veden kulutuksen määrä ja tarpeet erikoistilanteissa oli selvitetty, putkilinjasta laskettiin painehäviöt. Näiden perusteella oli mahdollista arvioida, että millainen pumppu tarvittaisiin. Toisin kuin aluksi ajateltiin, uuden pumpun tuli olla pienempi tuotoltaan kuin nykyisten pumppujen, koska jäähdytysveden käyttö voimalaitoksella on vähentynyt sen jälkeen, kun pumppaamon pumppuja on viimeksi uusittu. Pumpun uusinnalla haetaan parasta mahdollista hyötysuhdetta. Työn lopussa käydään läpi saavutettuja tuloksia.

2 PORI ENERGIA OY

Pori Energia Oy on energiayhtiö, joka tuottaa kaukolämpöä ja -viilennystä, sähköä ja teollisuuden energiapalveluita kuten prosessihöyryä. Pori Energia Oy:n palveluihin kuuluvat myös sähkötekniset palvelut ja urakointi. Näihin kuuluvat esimerkiksi sähkösuunnittelu, sähkö- valaistus- ja kaukolämpöverkkojen rakentaminen ja ylläpitäminen. Yksi yhtiön tärkeimmistä tavoitteista on tuottaa vastuullisesti energiapalveluita. Pori Energia Oy:n tuotanto on tällä hetkellä 75 % hiilineutraalia ja lähitulevaisuuden tavoitteena on pyrkiä 90 % hiilineutraaliksi.

(Pori Energia Oy, 2021; M-Files ID 144924 Versio 37, 2021)

2.1 Yhtiö

Pori Energia Oy on perustettu vuonna 2006 yhdistämällä Porin Lämpövoima Oy ja Pori Energia -liikelaitos. Yhtiö on Porin kaupungin omistama osakeyhtiö, jonka liiketoiminta pohjautuu energiapalveluihin Satakunnan alueella. Yhtiöön kuuluvat myös kokonaan Pori Energian omistuksessa olevat tytäryhtiöt Pori Energia Sähköverkot Oy ja Tuulia Energia Oy. Pori Energia Oy omistaa myös osuudet yrityksistä Suomen Teollisuuden Energiapalvelut - STEP Oy, POLA Energy Assets Oy, One1 Oy, Voimapato Oy, E-Protech Oy ja Kolsin Voima Oy.

Pori Energia Oy:n liikevaihto vuonna 2020 oli 108,3 miljoonaa euroa ja tästä liikevoittoa oli 24,8 miljoonaa euroa. Vuonna 2020 yhtiö myi 312 GWh sähkö- ja 579 GWh lämpöenergiaa (GWh tarkoittaa gigawattituntia). Henkilöstöä yhtiössä oli vuoden 2020 lopussa 203, joista vakituisia 180 ja määräaikaisia 23. Porissa yli 50 % asukkaista asuu kaukolämmitetyissä kodeissa ja Pori Energia sähköverkoilla on yli 50 000 asiakasta.

(Pori Energia Oy Toimintakertomus, 2020)

2.2 Aittaluodon voimalaitos

Aittaluodon voimalaitos sijaistaa Porin keskustassa Aittaluodon teollisuusalueella. Kaukolämpö on voimalaitoksen päätuote. Sen lisäksi laitoksella tuotetaan

prosessihöyryä teollisuusalueen muille yrityksille ja kupariteollisuuspuistoon ja näiden yhteistuotantona syntyvää sähköä Pori Energian asiakkaille.

(Pori Energia Oy, 2021)

Tuotanto Aittaluodossa aloitettiin vuonna 1968. Voimalaitoksella on kolme käytössä olevaa kattilaa. A-kattila, RT-kattila ja apukattila. A-kattila on vuonna 2020 valmistunut Andritz Oy:n valmistama biokattilalaitos, jonka myötä kaukolämmöntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat laskeneet huomattavasti. A-kattilan teho on 80 MW (MW tarkoittaa megawattia), joka saavutetaan pelkästään uusiutuville polttoaineilla kuten metsähake, sahanpuru, kuori ja kutterinlastu. Suurin osa polttoaineesta hankitaan Satakunnan alueelta. Voimalaitos hyödyntää viereisen sahan sivutuotteena syntyvää purua ja kuorta, jotka siirretään kuljettimen avulla sahalta voimalaitoksen alueelle, jolloin kuljetuksesta ei synny tieliikennepäästöjä. Poikkeustilanteita lukuun ottamatta ainoastaan A-kattila on käytössä ja muut kattilat ovat varalla. A-kattila on eri rakennuksessa kuin vanhempi osa voimalaitosta.

(Pori Energia Oy, 2021; M-Files ID 144924 Versio 37, 2021)

A-kattila on tyypiltään kupliva leijupetikattila. A-kattilaan kuuluu Valmet Technologies Oy:n toimittama savukaasulauhdutin, joka mahdollistaa aiempaa tehokkaamman savukaasuissa olevan energian talteenoton. Savukaasulauhdutin vähentää polttoaineen käytön tarvetta huomattavasti.

(M-Files ID 144924 Versio 37, 2021)

RT-kattila on vuonna 1981 käyttöön otettu arinakattila, joka muutettiin vuonna 1996 leiju kerroskattilaksi. RT-kattilan teho on 116 MW. A-kattilan valmistuttua RT-kattila on ollut käytössä vain talvisin kovilla pakkasilla ja A-kattilan huollon aikana.

(M-Files ID 144924 Versio 37, 2021)

Apukattila on polttoöljyllä toimiva vara- ja huippukuormakattila, jota käytetään kylminä jaksoina tukemassa A-kattilan kaukolämmön tuotantoa. Apukattilan on toimittanut KPA Unicon Oy ja sen teho on 46 MW

(M-Files ID 144924 Versio 37, 2021)

Aittaluodossa on toiminnassa yksi höyryturbiini TG-6. Turbiinin maksimi sähköteho on 16,4 MW. Turbiini on pyörivä lämpövoimakone, joka muuttaa höyryn energian mekaaniseksi energiaksi. Mekaaninen energia taas tekee generaattorissa sähköä.

(M-Files ID 144924 Versio 37, 2021)



Kuva 1. Aittaluodon voimalaitos. (Insta Oy, 2020)

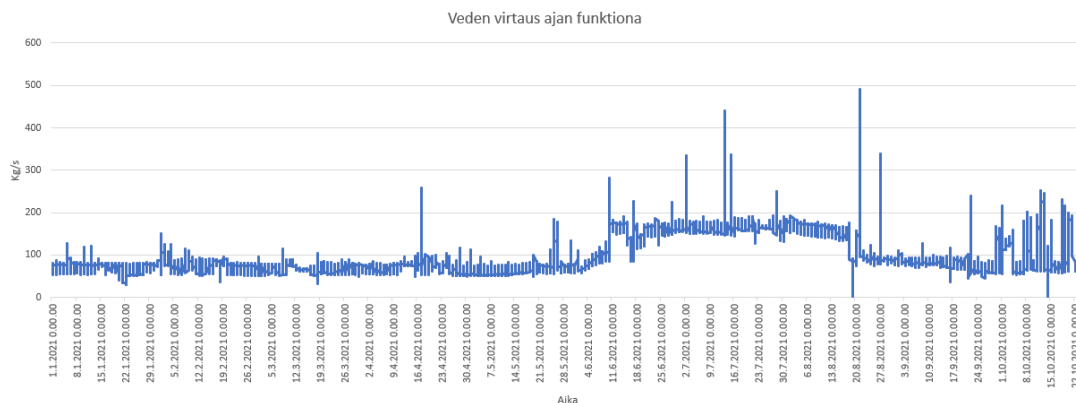
3 SELVITYS NYKYISESTÄ JÄRJESTELMÄSTÄ

Aittaluodon voimalaitoksella on jokivesipumppaamo, joka siirtää jokivettä Kokemäenjoesta voimalaitokselle putkea pitkin. Seuraavissa luvuissa perehdytään yksityiskohtaisesti edellä mainittuihin osastoihin.

3.1 Jokivesipumppaamo

Rakennus on 1960-luvulla rakennettu pumppuasema Aittaluodon teollisuusalueella Kokemäenjoen rannassa. Siellä on kolme suurehkoa kuilurakenteista uppopumppua, joista kaksi on Sarlinin valmistamia ja yksi Grundfosin. Pumppaamo on erittäin tärkeä osa voimalaitosta, sillä jäähdytysvettä tarvitaan jatkuvasti, jotta prosessi voidaan pitää käynnissä. Pumppaamo siirtää jokivettä nykyhetkellä keskimäärin 98 kg/s voimalaitokselle. Pumppausmäärä vaihtelee normaalitilanteissa suunnilleen välillä 50 kg/s - 200 kg/s = 180 m³/h - 720 m³/h (tarkasteluajankohta 1.1.2021 - 24.10.2021). Pumppujen tehoa säädellään taajuusmuuttajien avulla. Joissakin useimmiten esiintyvissä häiriötilanteissa virtaus saattaa kasvaa noin 500 kg/s = 1800 m³/h lukemiin, mutta ne ovat harvinaisia ja lyhytjaksoisia tapahtumia.

Pumpattavan veden tarpeeseen vaikuttaa pääasiassa veden lämpötila ja ulkolämpötila. Myös Corex Oy, jolle Pori Energia Oy myy mekaanisesti puhdistettua vettä, vaikuttaa pumppaamisen määrään. Kesällä, kun ilma ja jokivesi ovat lämpimiä, pumppaamisen tarve on huomattavasti suurempi kuin talvella, jolloin ilma ja vesi on viileää. Ajanjaksoilla 1. 9. 2020 - 31. 3. 2021 keskiarvo on 72,8 kg/s = 262,08 m³/h ja välillä 1. 4. 2021 - 31. 8. 2021 virtauksen keskiarvo on 113,9 kg/s = 410,04 m³/h.

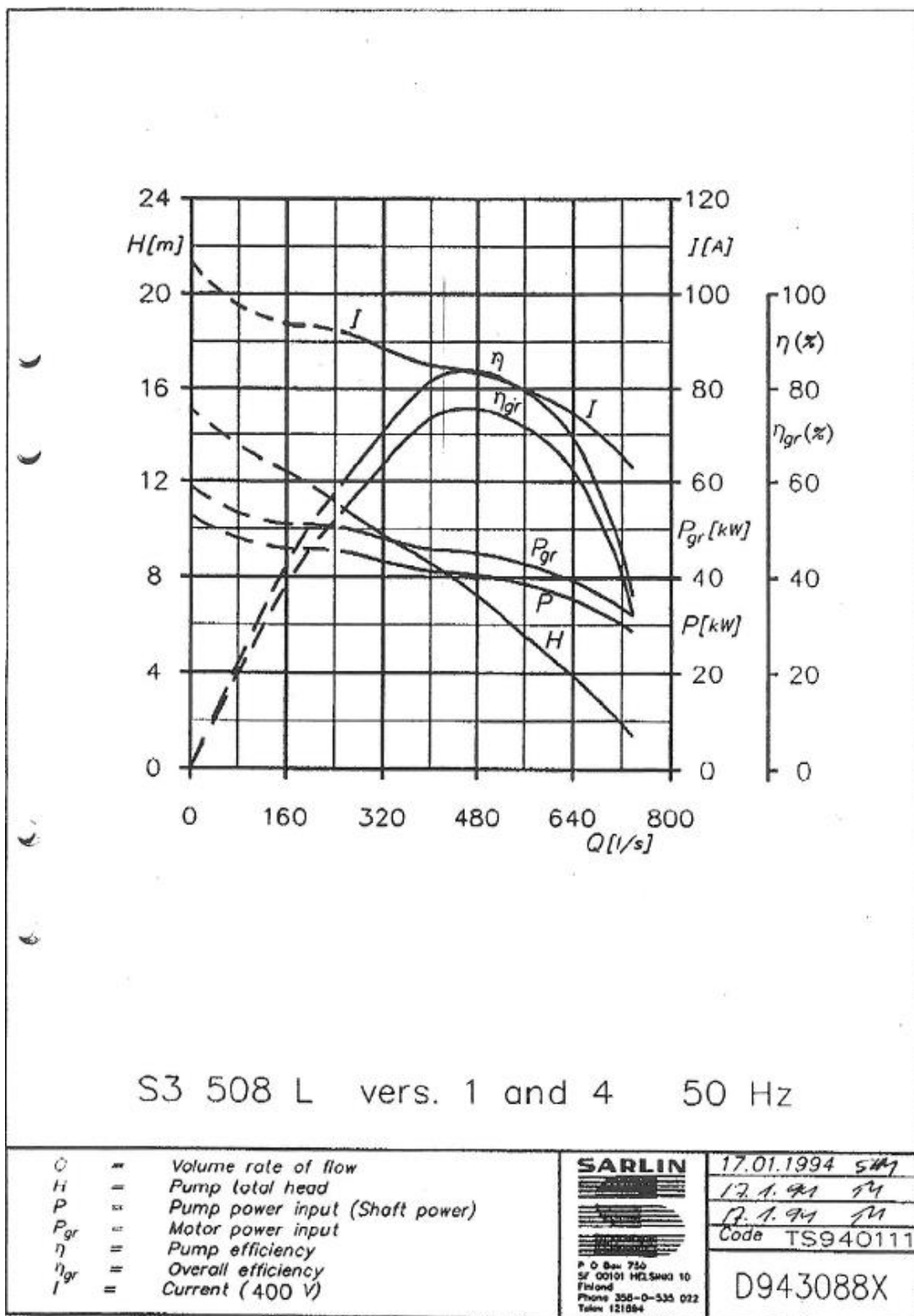


Kuva 2. Veden virtaus ajan funktiona. (Mika Hannuksela)

Jokivesipumppaamo on uusittu ja saneerattu aikojen saatossa ja tarpeiden vaatiessa. Viimeisimmät prosessiin vaikuttavat uudistukset pumppaamolla tehtiin kesällä 2021. Silloin putkilinja pumppuaseman sisällä uusittiin ja venttiilit päivitettiin automaattiventtiileiksi. Putkiurakka suunniteltiin Afry Oy:n toimesta ja urakan toteutti Lännen Putkihitsaus Oy. Automaatio-osuudesta vastasi Valmet Oy. Tällä investoinnilla saatiin toimintavarmuus ja ylläpito paremmiksi. Uusittava putkisto-osuus sisälsi vuotokoh-teita, joiden korjaus rikkoutuessaan olisi ollut mahdotonta toteuttaa ilman pitkäaikaista vesikatkoa. Vesikatko olisi myös aiheuttanut toteutuessaan tuotantolaitoksen osittai-sen alasajon. Myös automaation osalta vanha järjestelmä oli elinkaarensa päässä, eikä varaosiakaan ollut juuri enää saatavilla.

3.1.1 Sarlin pumput

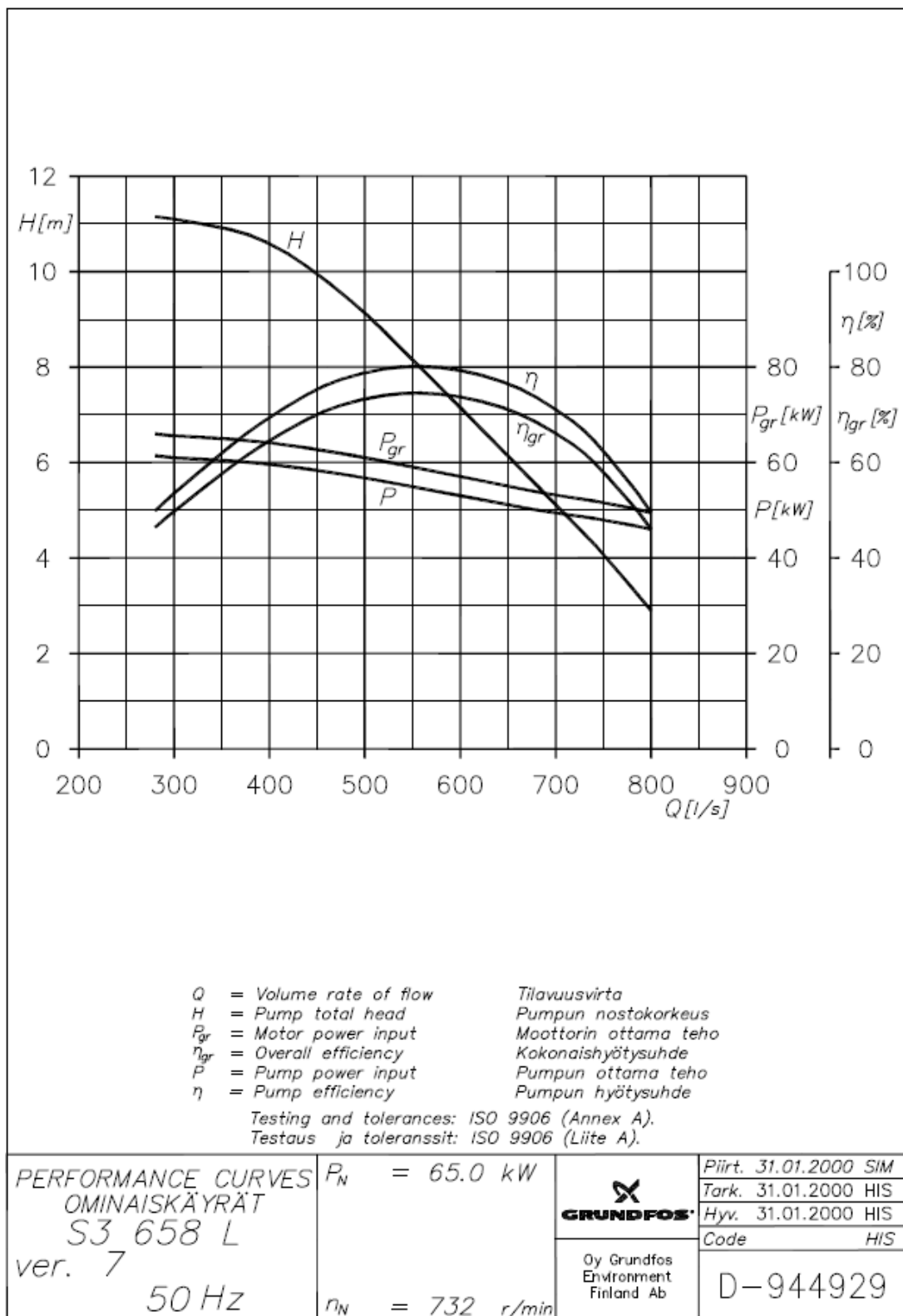
Rantapumppaamon pumput 1 ja 2 ovat Oy E. Sarlin Ab:n valmistamia uppopumppuja, jotka ovat asennettu kuilurakenteisesti. Pumpuilla on mahdollista tuottaa tilavuusvir-tausta välillä 250–740 l/s = 900 m³/h- 2 664 m³/h ja optimaalisimmat arvot ovat 420 l/s = 1 512 m³/h kun nostokorkeus on 8 metriä. Pumppujen moottorit toimivat 50 kW (kW tarkoittaa kilowattia) teholla ja niiden suurin mahdollinen kierrosluku on 726 r/min.



Kuva 3. Pumppujen 1 ja 2 ominaiskäyrät.

3.1.2 Grundfos pumppu

Rantapumppaamon pumppu 3 on Grundfos Oy:n valmistama uppopumppu, joka on asennettu kuilurakenteisesti. Pumpun suurin mahdollinen virtauksen tuotto on $850 \text{ l/s} = 3\,060 \text{ m}^3/\text{h}$ ja nostokorkeus on 11,3 metriä. Pumpun optimaalinen tilavuusvirtaus on $550 \text{ l/s} = 1\,980 \text{ m}^3/\text{h}$ ja nostokorkeus on 8 metriä. Pumpun moottori toimii 65 kW teholla ja sen suurin mahdollinen kierrosluku on 732 r/min.



Kuva 4. Pumpun 3 ominaiskäyrät. (M-Files ID 36875 Versio 2, 2014)

3.2 Putkilinja

Vesi pumppaamolta voimalaitokselle kulkee putkilinjaa pitkin suurimmaksi osaksi maan alla. Vesiputki lähtee Kokemäenjoen rannasta pumppaamorakennuksesta ja kulkee Seikun sahan alueen läpi voimalaitoksen alueelle. Siellä se haarautuu venttiilikaivosta kolmeen eri kohteeseen voimalaitoksella. Putkistoissa käytetään DN kokotaulukkoa. DN tarkoittaa diameter nominal eli nimellinen halkaisija.

Putkiston alkupää pumppaamon sisällä uusittiin kesällä 2021. Vanha putkilinja alkoi olla elinkaarensa päässä ja siinä oli vuotokohtia. Uusittu putkiosuus on valmistettu haponkestävästä teräsputkesta (316 (1.44.1)) koossa DN 600. Myös venttiilit on vaihdettu vastaamaan nykytekniikkaa. Jokaiselta pumpulta lähtee oma putkensa, jotka yhdistyvät toisiinsa pumppaamorakennuksen sisällä.

Uusittu putkiosuus jatkuu pumppaamon ulkopuolelle, jossa se siirtyy maan alle ja laajenee kokoon DN 700. Putki laajenee, koska vanhempi osuus putkilinjasta on DN 700 -kokoista Hobaksen lasikuituvahvisteista putkea. Lasikuituputki kulkee maan alla kohti voimalaitosta noin 150 metriä, jonka jälkeen se muuttuu teräsputkeksi ja nousee maan pinnalle ylittäessään Vähäjoen ja kanavan. Sen jälkeen putki palaa takaisin maan alle vaihtuen lasikuituputkeksi ja kulkee voimalaitoksen alueelle venttiilikaivoon. Putken koko pituus pumppaamolta venttiilikaivolle on noin 390 metriä.

Liite 1.(kuva putkilinjasta)

Venttiilikaivosta putki jakautuu kolmeen eri kohteeseen. Kohteet ovat painekaivo, apujäähdytin ja mekaanisen veden käsittelylaitos.

4 VIRTAUSTEKNIikka

Jokivesipumppua mitoittaessa on olennaista ymmärtää, että mitkä seikat vaikuttavat ja kuinka paljon putkilinjan virtaustekniseen toimintaan ja miten eri asiat virtaustekniikassa vaikuttavat toisiinsa. Tässä luvussa tutustutaan virtaustekniikan perusteisiin, joita käsitellään työn myöhemmissä osioissa. Virtaustekniikkaan kuuluu muun muassa seuraavia käsitteitä: paine, virtaus putkistossa, paine suljetussa verkossa, bernoullin yhtälö, virtausvastukset ja laminaarisuus.

Käsitteenä paine on voima, joka kohdistuu kohtisuorasti nesteen tai kaasun puristusalueeseen. Paine jakautuu tasaisesti kaikkialle nesteeseen ja sen ympärille. Paine määritetään seuraavan kaavan mukaisesti.

(Rantanen, 2019, s. 2–3)

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

p on paine, N/m^2

F on voima, N

A on pinta-ala, m^2

Fluidi on virtaavan aineen yleisnimitys. Se voi olla kaasua tai nestettä. Putkivirtaukset jaetaan kokoonpuristuviin (kaasut) sekä kokoonpuristumattomiin (nesteet) virtauksiin. Kokoonpuristumattomissa virtauksissa tiheys säilyy samana. Kokoonpuristuvissa se taas vaihtelee puristuksen mukaan. Virtauksen suuruus ilmoitetaan useimmiten joko massavirtana tai tilavuusvirtana. Tilavuusvirran yksikkö kertoo kanavan läpi kulkevan virtausaineen tilavuuden aikayksikössä. Massavirran yksikössä saadaan aikayksikössä kanavan läpi kulkevan virtausaineen massa.

(Rantanen, 2019, s. 3)

$$q_v = Av \quad (2)$$

qv on tilavuusvirta, m³ /s

A on putken poikkipinta-ala, m²

v on fluidin virtausnopeus, m/s

$$q_m = \rho q_v$$

qm on massavirta, kg/s

ρ on fluidin tiheys, kg/m³

Putkiston virtaukseen liittyy myös virtausnopeus, joka saadaan laskettua seuraavalla kaavalla.

$$v = \frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot d^2} \quad (3)$$

Kaavassa d on putken sisähalkaisija.

Suljetussa putkivirtauksessa on kahdenlaista painetta, dynaamista sekä staattista. Staattinen paine on nesteen itsensä aiheuttamaa painetta ja dynaaminen aiheutuu nesteen liike-energiasta. Nämä paineet laskettuna yhteen saadaan kokonaispaine. (Rantanen, 2019, s. 5)

$$p_t = p_s + p_d \quad (4)$$

p_t on kokonaispaine

p_s on staattinen paine

p_d on dynaaminen paine

Energiayhtälö eli Bernoullin yhtälö kertoo stationäärisessä ja kitkattomassa virtauksessa energiamuotojen riippuvuudesta toisiinsa. Lain mukaan virtauksessa nopeuden kasvaessa paine alenee ja suljetussa putkessa virtauksen energia on vakio. Oletettaessa tiheyden pysyvän vakiona paineesta riippumatta Bernoullin laki voidaan ilmaista seuraavalla yhtälöllä.

(Rantanen, 2019, s. 6)

$$p + pgh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{vakio} \quad (5)$$

g on maan vetovoiman kiihtyvyys, $9,8 \text{ m/s}^2$

h on korkeusasema, m

Suljetussa putkistossa ei synny hydrostaattisen paineen muutosta eli staattista painehäviötä vaikka korkeuseroja olisikin. Alaspäin virtaava neste luo putkistoon imun, jonka suuruus on yhtä suuri kuin hydrostaattinen painehäviö. Kun kyseessä on suljettu putkisto, voidaan Bernoullin yhtälöä käyttää seuraavassa muodossa.

(Rantanen, 2019, s. 6)

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{vakio} \quad (6)$$

Putkivirtauksessa etenkin pitkissä linjoissa esiintyy virtausvastuksia, joista syntyy painehäviötä. Vastukset ovat kitkavastuksia ja kertavastuksia. Virtausvastukset muuttuvat linjassa lämpöenergiaksi. Kitkan aiheuttamat häviöt ilmenevät painehäviönä tarkasteltavan alueen loppupäässä. Virtaavan aineen viskositeetti vaikuttaa aineen liike-energiaan. Viskositeetti ilmaisee aineen sisäisen kitkan ja siihen vaikuttaa paine sekä lämpötila. Nesteen viskositeetti pienenee, kun paine ja lämpötila kasvavat. Pieni viskositeetti kertoo ohuesta hyvin juoksevasta nesteestä kuten vedestä ja suuremman viskositeetin omaava aine on sakeampaa kuten esimerkiksi voiteluöljyt.

(Rantanen, 2019, s. 8)

Reynoldsin luku on tärkeä virtaustekniikassa. Luku kuvaa virtauksen luonnetta. Putkivirtauksen luonteet ovat laminaarinen ja turbulenttinen virtaus. Useimmiten rauhallisesti virtaava neste liikkuu laminaarisesti, mutta virtaus voi muuttua turbulenttiseksi virtausnopeuden kasvaessa tai äkillisen nopeudenmuutoksen johdosta. Laminaarisessa virtauksessa fluidi liikkuu virtaviivaisesti putkea pitkin paraabelin muotoisesti. Putken sisäpinnat aiheuttavat kitkaa, joka hidastaa fluidin kulkemista sivuilla, kun taas keskiosassa nesteen on mahdollista kulkea vapaammin. Turbulenttisessa virtauksessa fluidi

kulkee putkea pitkin samalla jatkuvasti sekoittuen. Reynoldsin luku lasketaan seuraavalla kaavalla.

(Rantanen, 2019, s. 9)

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (7)$$

D on putken halkaisija

v on keskimääräinen virtausnopeus

p on tiheys

μ on dynaaminen viskositeetti

Reynoldsin luvun ollessa < 2320 virtaus on laminaarista ja > 3000 virtaus on turbulenta. Mikäli luku osuu edellä mainittujen väliin, virtaus on siirtymäalueella.

(Rantanen, 2019, s. 9)

4.1 Putkilinjan painehäviöt

Suurissa putkilinjoissa pitää ottaa huomioon painehäviöt ja virtausvastukset. Ne aiheutuvat korkeuseroista, muutoskohdista putkilinjassa, putken sisäpinnan epäpuhtauksista ja muista edellisessä kappaleessa mainituista seikoista. Painehäviölaskennassa virtaukset jaetaan tavallisesti puristuviin ja puristumattomiin virtauksiin, sillä fluidissa tiheyden muutokset vaikuttavat paineeseen ja tästä johtuen myös painehäviöön. Eräs putkilinjassa esiintyvä painehäviö aiheutuu hydrostaattisesta paineesta, jonka painovoima aiheuttaa. Putkilinjan koko ja siinä kulkevan fluidin määrä ei vaikuta hydrostaattiseen paineeseen. Muistisääntönä 10 metrin korkeus ero muuttaa painetta 1 Barin.

Putkilinjan muutoskohtia tutkittiin selaamalla vanhoja rakennekuvia. Osioita, joista ei löytynyt dokumentteja, piti selvittää fyysisesti tarkastelemalla putkilinjaa. Korkeuserot selvitettiin yhteistyössä Teollisuuskymppi Oy:n kanssa mittaamalla putkilinjaa Leica TDA 5005 täkymetrillä. Mittauksessa selvitettiin korkeuseroja joenpinnan ja painemittareiden välillä. Näitä tietoja tarvittiin painehäviön laskemiseen. Mittaukseen

vaadittiin täkymetri, koska suurin osa tarkasteltavista painemittareista on voimalaitoksen sisällä noin 500 metrin etäisyydellä joesta.

Joen pinnan korkeuseron vaihtelua tarkasteltiin mittausdatan historiasta. Ääriolosuhteissa korkoerot olivat alarajalla (-1,48 m) ja ylärajalla (+ 2,35 m). Painehäviöiden laskemista varten selvitettiin myös, että mitkä haarat putkilinjasta olivat käytössä, näiden haarojen virtaukset, sekä erityisesti sprinkleripumppujen imuputken runkolinjalitusten sijainnit ja imuputkien koko ja pituus.

Painehäviölaskentaa varten putkilinjasta tulee selvittää sen virtauskerroin eli Kv - arvo.

”Kv-arvo on 1950-luvulta lähtien olemassa oleva normitettu tunnusluku nesteen saavutettavalle virtaukselle venttiilin läpi. Kv-arvon laskenta tapahtuu normin DIN EN 60 534 mukaisesti, jolloin arvo määritellään VDE/VDI 2173 -määräysten mukaisesti mittaamalla vettä n. 1 baarin painehukalla ja 5–30 °C:n lämpötilassa. Tuloksen yksikkö ilmoitetaan m³/h:na.”

(Bürkert Finland Oy, 2022)

Nesteiden Kv-arvon laskemista varten pitää tietää virtaus, nesteen tiheys ja paine-ero. Mitattua paine-eroa tarkastellaan työssä positioissa UZ01P001 pumppaamon painemittaus ja VF80P001 painemittaus apujäähdyttimellä. Positioiden välinen paine-ero on pieni, joten se voidaan laskea vähentämällä apujäähdyttimen paine pumppaamon paineesta. Mittaus VF80P001 mittaa normaalitilanteessa käytännössä lähes samaa painetta mikä vallitsee venttiilikaivon alueella. Putkilinjasta lasketaan kokonaisuuden Kv-arvo kyseiseltä väliltä, koska tämän jälkeen virtaus jakaantuu kolmeen osaan ja erikokoisiin putkiin, eikä putkien osavirtauksista ole tarkkaa tietoa. Lisäksi venttiilikaivon jälkeen eri haarojen painehäviöt ovat käytössä olevilla virtauksilla hyvin pieniä.

(Bürkert Finland Oy, 2022)

Kv- arvo lasketaan kaavalla:

$$Kv = Q \times \sqrt{\frac{1\text{bar}}{\Delta P} \times \frac{\rho}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \quad (8)$$

Q = tilavuusvirtaus, m^3/h

Δp = painehäviö, bar

ρ = nesteen tiheys, kg/m^3

Putkilinjan Kv-arvoa laskettaessa tulee ottaa myös huomioon mittauspisteiden välinen korkeusero. Pumppaamon mittauspiste on 1,3 metriä apujäähdyttimen mittauspaikasta korkeammalla. Hydrostaattisen paineen vuoksi apujäähdyttimen mittausarvosta tulee vähentää 0.13Bar.

1. 10. 2021 klo 10.10 veden virtaus putkilinjassa oli $380 \text{ kg/s} = 1368 \text{ m}^3/\text{h}$. Paine pumppaamolla oli 0,5157 bar ja apujäähdyttimellä korkeusero huomioon ottaen 0,352 bar. Mitatuksi paine-eroksi saatiin 0,1637 bar. Näistä arvoista edellä mainitun kaavan avulla Kv- arvoksi saatiin $3376 \text{ m}^3/\text{h}$

Kun Kv- arvo on laskettu, voidaan laskea käyrän puuttuvat, isompien virtausten painehäviöt Δp , kun tiedetään laskettu Kv-arvo, valittu virtaus ja veden tiheys, kaavalla

$$\Delta p = p * \left(\frac{Q}{Kv}\right)^2 * \frac{1}{1000} \quad (9)$$

ρ = tiheys, kg/m^3

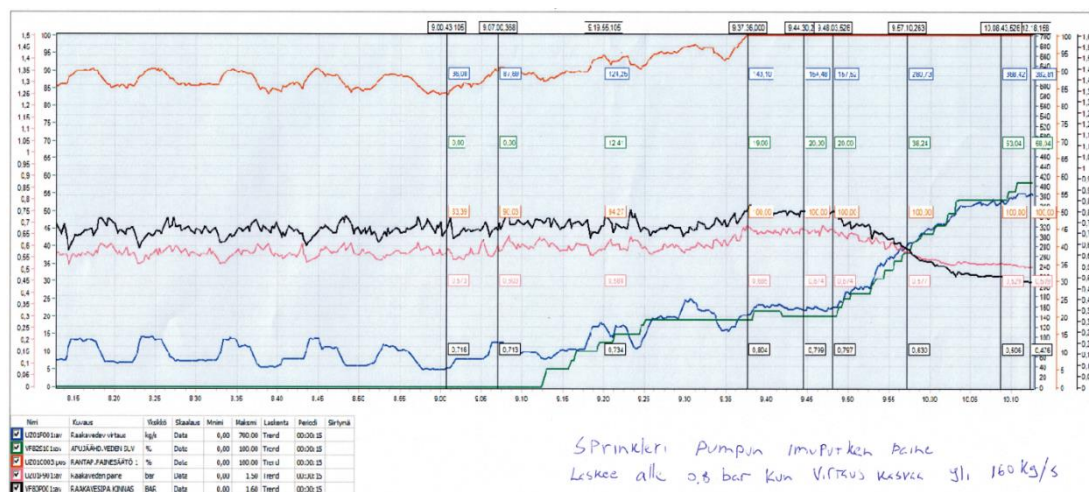
Q = tilavuusvirtaus, m^3/h

Kv = virtausvakio, m^3/h .

Tällä kaavalla laskettuna putkilinjan virtausvastuksen aiheuttama painehäviö Δp on 380 kg/s virtauksella 0,16 bar. Mikäli virtaus olisi suurempi esimerkiksi 600 kg/s saataisiin painehäviöksi 0,41 bar.

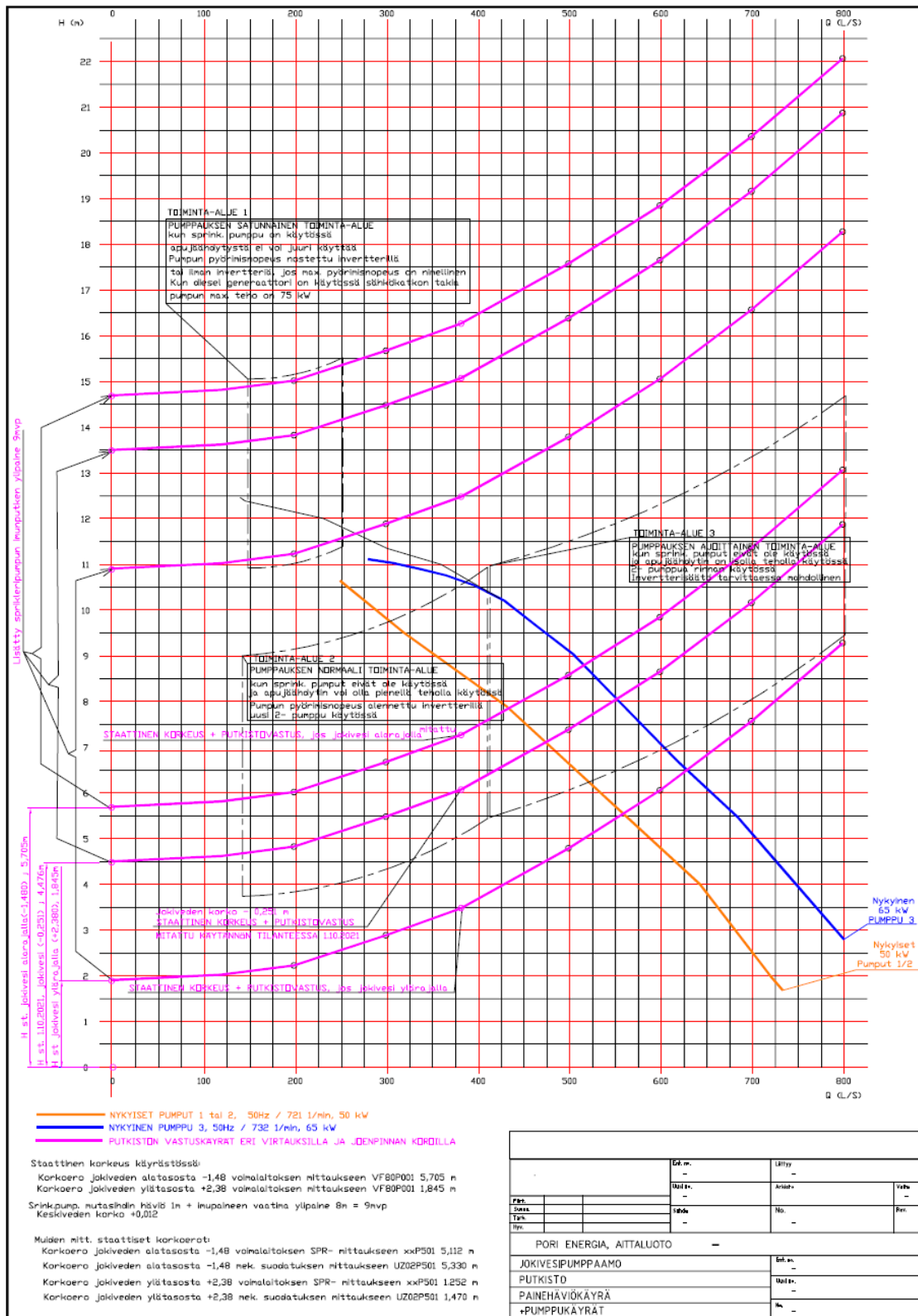
(Bürkert Finland Oy, 2022)

Painehäviölaskentaa varten suoritettiin myös muutamia koeajoja, joista saatiin selville kriittisiä tietoja, esimerkiksi kuinka suurella virtauksella sprinkleripumppujen imuputken paine laskee alle 0.8 bar. Myös muista häviöistä saatiin tuloksia. Yhdessä koeajoista nostettiin pumpun kierrokset maksimiin ja mitattiin järjestelmämittauksilla painetta ja virtausmäärää putkilinjan alkupäässä sekä voimalaitoksella eri kohteissa. Koeajossa lisättiin vähitellen veden virtausta voimalaitoksella ajamalla sitä apujäähdyttimen läpi takaisin jokeen. Sprinkleripumpun imuputken paine laskee alle 0.8 bar kun virtaus kasvaa yli 160 kg/s. Tämä arvo oli tärkeää saada selville koeajossa. Tätä painetta ei ole mahdollista seurata järjestelmästä, joten painemittaria tuli seurata kohteessa paikallismittarista. Koeajossa haluttiin selvittää myös, että miten paine ja virtaus muuttuvat muissa kohteissa, kun joesta pumpataan enemmän vettä.



Kuva 5. Koeajon 1.10.2021 tulokset. (Mika Hannuksela, 2021)

Kun tarvittavat tiedot oli saatu, ne lähetettiin Afry Oy:n Tenho Hätiselle, joka teki kattavamman putkiston painehäviölaskennan, sekä taulukon, jossa esitetään putkiston vastuskäyrät eri joenpinnan koroilla. Taulukkoon on sijoitettu myös nykyisten pumpujen tuottokäyrät. Alempi sarja on tilanteesta, jossa sprinkleripumput eivät ole käytössä ja ylempi kun sprinkleripumput ovat käytössä ja pumpujen imuun tarvitaan enemmän ylipainetta, vähintään 0,8 bar. Käyrien mukaan pumput eivät ole joka tilanteessa hyvällä toiminta-alueella. Painehäviökäyristä voidaan havaita, että putkistoon on kertynyt virtausta haittaavaa lietettä tai muuta epäpuhtautta tai putkissa on jotain muuta normaalista poikkeavaa kertavastusta.



Kuva 6. Putkiston vastuskäyrä ja pumppukäyrät. (Tenho Hättinen, 2022)

5 VEDEN KÄYTTÖKOHTEET

Päävesiputki jakaantuu venttiilikaivossa voimalaitoksen alueella kolmeen haaraan, joista vesi kulkee eri kohteisiin. Tässä kappaleessa perehdytään putken haaroihin, joita ovat painekaivo, apujäähdyttävä ja mekaanisen veden puhdistamo. Järjestelmän tulkinnan selkeyttämiseksi liitteinä on kaksi PI-kuvaa jäähdytysvesijärjestelmän alkupäästä. PI-kuvissa ”KINNAS” tarkoittaa venttiilikaivoa.

(Liitteet 2 & 3.)



Kuva 7. Venttiilikaivo (Mika Hannuksela, 2021)

5.1 Painekaivo

Putkea, joka kulkee venttiilikeskuksesta A-kattilan jäähdytysjärjestelmään, kutsutaan edelleen painekaivoksi, koska se kulkee vanhan, jo käytöstä poistetun painekaivon lävitse voimalaitoksen sisälle. Ensimmäisenä putken tultua voimalaitoksen sisälle siitä haarautuu sprinkleripumppaamon imulinjojen putket. Putkessa on kaksi rinnan kytkettyä mutasihtiä, joiden puhtautta seurataan paine-eromittarilla tukkeutumisen varalta. Kun suodatin alkaa olla tukossa, siitä tulee ilmoitus valvomoon, jonka jälkeen toinen suodatin voidaan ottaa käyttöön ja tukkiutunut poistaa käytöstä puhdistamista varten.

Sihtien jälkeen putkilinjassa on kaksi rinnakkain olevaa raakavesipumppua, jotka pumppaavat veden A-kattilalle. Sihtien ja raakavesipumppujen välissä on haara, josta vesi on mahdollista siirtää sisäiseen jäähdytysvesijärjestelmään. Tämä linja pidetään useimmiten suljettuna ja vesi ajetaan edellä mainittuun kohteeseen toista reittiä.

Raakavesipumpun yhteydessä on myös paluuputkilinja, joka mahdollistaa veden kiertämisen painepuolelta takaisin imupuolelle. Seuraavaksi putkilinja kulkee TG-6 turbiinin ulospuhallussäiliöön, A-kattilan ulospuhallussäiliöön ja lentotuhkan kostutukseen. Näihin kohteisiin vettä virtaa keskimäärin $5,43 \text{ l/s} = 19,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.1.1 Sprinkleripumppaamo

Sprinkleripumppaamo on erittäin tärkeä osa vesijärjestelmää. Sen rajoitteet tulee ottaa huomioon uutta jokivesipumppua valittaessa. Sprinkleripumppaamon imulinjat ovat kiinni painekaivon putkessa, ja pumppujen toimivuuden varmistamiseksi valmiustilanteessa imuputkissa tulee olla 0.8 barin ylipaine. Pumppaamolla on kaksi pumppua, sähköinen ja polttoöljyllä toimiva varapumppu sellaisia tilanteita varten, että sähköpumppu jaksaa sitä yksinään tuottaa. Molempien sprinkleripumppujen tuotto on 50 litraa sekunnissa. Tulipalotilannetta varten automaatiojärjestelmään on tehty ohjelma, jonka johdosta sprinkleripumpun käynnistyessä pumppu rantapumppaamolla säätyy täydelle teholle. Myös muut vedenkulutuskohteet säädetään minimiin mahdollisuuksien mukaan, jotta vesi riittää varmemmin sprinkleripumpuille ja palon sammuttamiseen.

5.2 Apujäähdyttävä

Apujäähdyttävä on prosessin osa, jonka ansiosta kaukolämpövettä on mahdollista jäähdyttää tarvittaessa. Apujäähdytin on lämmönvaihdin, jonka lävitse kulkee kaukolämpövettä sekä jokivettä, jonka avulla kaukolämpövesi jäähdytetään. Apujäähdytintä käytetään useimmiten kahdesta eri syystä. Ensimmäinen ja suurempi syy on sähkön pörssihinnan korkeus. Toinen syy on se, että kaukolämpövesi ei palaa voimalaitokselle riittävän jäähtyneenä. Kaukolämpövettä jäähdytetään, jotta kattilakuorma pystytään pitämään mahdollisimman suurena. Tämän johdosta sähköä voidaan tuottaa mahdollisimman paljon. Apujäähdytintä käytettäessä sähkön pörssihinnan tulee olla korkea, jotta tuotetusta sähköstä saadaan enemmän tuottoa kuin apujäähdytys tuo kustannuksia.

Apujäähdyttimen putkilinjasta haarautuu pienempi putki, jota pitkin vesi pääsee kulkemaan sisäiseen jäähdytysveden kiertojärjestelmään. Tästä mainittiin jo osiossa 5.1. Sisäiseen jäähdytysjärjestelmään syötetään vettä keskimäärin 440 litraa tunnissa ja kun apujäähdytin on käytössä, vettä ajetaan keskimäärin 108 m³/h eli 108000 litraa tunnissa apujäähdyttimen läpi. Suurin veden virtaus viimeisen vuoden aikana apujäähdyttimellä on ollut 93 l/s = 335 m³/h.

Tutkimuksen aikana havaittiin, että apujäähdyttimen virtauksen säätö on käsisäätöinen ja tästä syystä säätö on epätarkka. Tästä johtuen apujäähdyttimen lävitse juoksetetaan vettä huomattavasti enemmän kuin olisi tarve. Apujäähdyttäjän automatisointiin tulee myöhemmin oma selvitys, jonka johdosta veden kulutukseen tulee muutos taloudellisempaan suuntaan. Apujäähdytys tulee myös lisääntymään tulevaisuudessa, mikä tulee ottaa huomioon jokivesipumppua valittaessa.

5.3 Mekaaninen vedenkäsittely

Mekaaninen vedenkäsittelylaitos Aittaluodon voimalaitoksella (meesapumppaamo) on kohde, jossa raakavesi ajetaan rumpukorisuodattimen läpi. Rumpukorisuodattimessa on suodatinverkko, joka poistaa vedestä suurimmat partikkelit, kuten äyriäiset ja pienet kalat. Suodatinverkkoa huuhdellaan syöttämällä vettä verkon ulkopuolelle,

jolloin sisäpuolelle tarttuneet epäpuhtaudet irtoavat ja ne suuntaavat huuhteluveden joukossa viemäriin. Huuhtelujakso käynnistyy automaattisesti tarvittaessa.

(Silvast, 2013, s. 8–9)

Vedenkäsittelylaitoksella on allas, johon suodatettu vesi syötetään ja altaaseen lisätään natriumhypokloriittia (NaClO), jotta rumpukorisuodattimen läpipäässeet pienet partikkelit saadaan tuhottua ja vettä desinfioidua.

(Silvast, 2013, s. 8–9)

Vedenkäsittelylaitoksella on myös dynaaminen suodatin, jonka toiminta on lähes vastaava kuin rumpukorisuodattimessa. Dynaaminen suodatin on huomattavasti pienemmän kokoinen kuin rumpukorisuodatin. Suodatin on käytössä rumpukorisuodattimen huuhtelun tai huollon vuoksi.

(Silvast, 2013, s. 8–9)

Mekaanisen veden käsittelylaitokselta vettä ajetaan mm. voimalaitokselle kemialliseen puhdistukseen sekä sisäiseen jäähdytysvesijärjestelmään. Corex Oy:lle myytävä vesi tulee myös vedenkäsittelylaitoksen kautta.

Mekaanisen vedenkäsittelylaitokselle ajetaan vettä keskimäärin $31,8 \text{ l/s} = 114,48 \text{ m}^3/\text{h}$. Suurimmat arvot kulutuksessa ovat viimeisen vuoden aikana olleet noin $190 \text{ l/s} = 684 \text{ m}^3/\text{h}$ luokkaa.

6 YHTEENVETO

Tuloksia ja arvoja tutkimalla ja vertailemalla toisiinsa huomataan, että veden käyttö normaalissa tilanteessa on vähäisempää kuin nykyisten pumppujen optimaaliset pumppausarvot, toisin kuin aluksi luultiin. Projektissa on havaittu, että nykyiset pumput ovat tarkoitettu suuremmalle veden tarpeelle ja että pumput käyvät pienemmällä kierrosnopeudella kuin mihin ne on suunniteltu. Alikierrokset aiheuttavat uppopumpulle huonon hyötysuhteen ja saavat sen värisemään. Värinä lyhentää huomattavasti pumpun käyttöikä ja saattaa vaurioittaa myös putkilinjaa. Uuden pumpun tulisi tuottaa vähemmän tilavuusvirtaa ja enemmän nostokorkeutta kuin nykyisten pumppujen. Vesipumppujen mitoituksessa tärkeä huomioitava asia on se, että tilavuusvirran kasvessa nostokorkeus laskee. (Kuva 5. Koeajon tulokset.)

(Hätinen, 2021)

Tilanteessa, jolloin vedenkulutus on suuri, esimerkiksi apujäähdytyksen johdosta, yhden pumpun tuotto ei välttämättä riitä enää kaikkialle, koska apujäähdyttimen lävitse juoksettavan jäähdytysveden virtausta ei rajoiteta tarkasti.

(Hätinen, 2021)

Nykyisten jokivesipumppujen ominaiskäyrät jokiveden korkeuden mukaan ovat pumppujen toiminta-alueella. Tämän käyrästäön mukaan nykyiset pumput riittävät normaaliajotilanteissa tuottamaan riittävästi raakavettä kaikkiin ajotilanteisiin ilman sprinkleripumppuja. Kuitenkin ne ovat niille sopivan toiminta-alueen alapuolella. Sprinkleripumppujen käynnistyttyä jää nykyisten raakavesipumppujen nostokorkeus riittämättömäksi. Tämä todettiin aiemmin sprinkleripumppujen tarkastelun yhteydessä. (Liite 4)

(Hätinen, 2021)

6.1 Valintavaihtoehdot

Uuden pumpun hankintaan liittyen käytiin muutamia mahdollisia vaihtoehtoja läpi. Tärkeänä tavoitteena on pitää raakavesijärjestelmä mahdollisimman yksinkertaisena.

Ensimmäinen suunnitteluvaihtoehto on hankkia sprinkleripumpuille boosteripumppu. Boosteripumppu asennettaisiin varmennetun sähkönsyötön taakse ja se olisi noin 10 kW tehoinen. Tämä pumppu asennettaisiin sprinkleri päälinjaan, joka toimisi normaalikäytössä pääsyöttölinjana.

Toinen vaihtoehto on täysin uudet sprinkleripumput. Tässä vaihtoehdossa pohdittavaksi jää, että saadaanko sprinkleripumput uusittua nykyisille imupaineille, millaiset pumput pystyisivät tuottamaan riittävän nostokorkeuden sprinklerijärjestelmälle ja onko sprinkleripumppuja kannattavaa vaihtaa.

Kolmas vaihtoehto on uusi jokivesipumppu. Tästä vaihtoehdosta tekee haastavan pumpputyypin, sillä uppopumppuissa säätöalue ei yleisesti ole kovin laaja ja veden käyttötarve vaihtelee voimalaitoksella. Uutta uppopumppua, joka korvaisi yksinään koko raakavesi tarpeen kaikissa tilanteissa, ei ole mahdollista hankkia.

Näistä vaihtoehdoista päädyttiin hankkimaan yksi uusi jokivesipumppu, sillä kaksi kolmesta pumpusta alkoi olla vanhoja ja jokiveden pumppaaminen tuotannon kannalta on erittäin tärkeää. Pumppua valittaessa tulee ottaa huomioon rantapumppaamon varavoimakoneen rajoitteet, jonka johdosta pumpun suurin mahdollinen teho voi olla 85kW. Varavoimakoneen teho on 88kW, mutta noin 3kW energiasta kuluu muun laitteiston tarpeisiin.

(Hätinen, 2021; Keskimäki, 2022)

6.1.1 Pumpputyypit

Tässä kappaleessa tutustutaan kohteeseen sopiviin pumpputyyppeihin, jotka ovat uppopumppu (aksiaalipumppu) ja keskipakopumppu (säteispyöräpumppu). Kappaleessa tutustutaan pumppujen ominaisuuksiin, säätötapoihin, toiminta-alueisiin ja energian käyttöön.

Uppopumppu on pumppu, jonka tarkoitus on siirtää nestettä paikasta toiseen. Uppopumppu on nimensä mukaisesti upotettuna veteen ja se siirtää ympärillään olevaa nestettä haluttuun kohteeseen pyörivän juoksupyörän avulla poistoputken tai letkun

kautta. Uppopumppu sisältää pumpun ja moottoriyksikön. Uppopumppujen moottorit ovat pääasiassa sähkömoottoreita ja koska ne toimivat veden alla, on veden pääseminen moottorin sisälle estettävä. Pumpun ja moottorin välissä on öljytila, jonka molemmilla puolilla on korkealaatuiset akselitiivisteet, jotka estävät veden pääsyn moottoriin. Uppopumpun etuja ovat muihin pumppuihin verrattuna sen maltillinen energiankulutus ja hyvä hyötysuhde oikealla toiminta-alueella. Uppopumpun etu on myös se, että sen pumppaama neste jäädyttää pumpun moottoria. Uppopumppujen yleisimmät käyttökohteet ovat veden poistaminen maakuopista ja viemäriveden pumppaus. Useimmat uppopumput käyvät jaksottaisesti, mutta ne soveltuvat myös mainiosti jatkuvaan pumppaamiseen. Jatkuvassa pumppauksessa on noudatettava pumpun valmistajan määrittelemiä huolto-ohjeita.

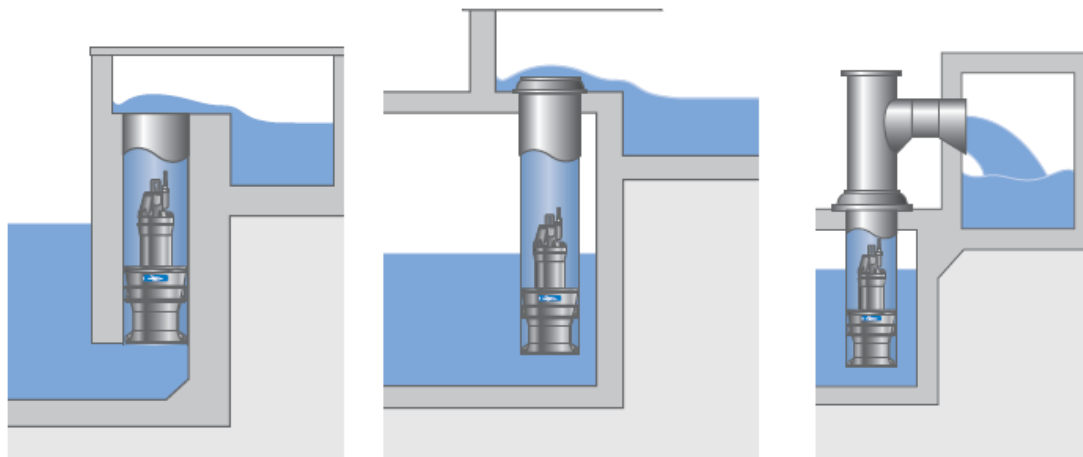
(Sarvanne & Borg, 1980, s. 25)

Pumppujen pumppausominaisuudet julkaistaan valmistajan koeajoon perustuvien ominaiskäyrien avulla (kuvat 3 ja 4). Kuvista selviää tärkeitä tietoja pumpun ominaisuuksista, esimerkiksi tilavuusvirta, nostokorkeus, pumpun ottama teho, akselin ottama teho, kokonaishyötysuhde ja virta. Käyrät piirretään tilavuusvirran Q funktiona. Suurille uppopumpuille tyypillisiä arvoja ovat suuri tilavuusvirta ja kohtalainen nostokorkeus. Uppopumpun moottorin ottama teho kasvaa tilavuusvirran kasvaessa. Uppopumpun tuottoa säädetään muuttamalla juoksupyörän kierroslukua. Juoksupyörän tyyppi ja koko vaikuttaa myös pumpun tuottoon. Uppopumppujen toiminta-alue on kohtalainen, mutta säädettäessä tuottoa pienimpään tai suurimpaan mahdolliseen tehoon, pumpun hyötysuhde kärsii huomattavasti. Uppopumpun hyötysuhde on parhaimmillaan noin 80 %.

(Sarvanne & Borg, 1980, s. 34–35; Bergius ym., 1975, s. 17–20)

Tässä työssä puhutaan uppopumpuista sekä uppoasenteisista potkuripumpuista. Näiden pumpputyyppejen ero on juoksupyörässä. Potkuripumpussa juoksupyörä on potkurin mallinen ja se sopii paremmin puhtaalle vedelle. Uppopumpun juoksupyörä on kanavajuoksupyörä, joka sopii myös esimerkiksi jäteveden pumppaamiseen. Jokivettä pumpatessa kumpi tahansa tyypeistä käy, sillä vedestä seulotaan suurimmat partikkelit pois koneväljän avulla ennen pumppuja.

(Sarvanne & Borg, 1980, s. 19–21)



Kuva 8. Tyypillisiä uoppumpun asennusratkaisuja. (Xylem Inc, 2013)

Keskipakopumppu on painetta kasvattava pumppu, jonka tehonlähde on useimmiten sähkömoottori. Se on yleisin teollisuudessa käytetty pumpputyyppejä. Keskipakopumpun toiminta perustuu keskipakovoimaan. Pumpun pesässä on pyörivä juoksupyörä, joka siirtää pumpattavan nesteen pumpun pesän ulkokehälle ja siitä eteenpäin paineputkeen. Nesteen siirtyessä pesän ulkokehälle ja sieltä paineputkeen, juoksupyörän keskiosaan syntyy alipaine, jonka johdosta imulinjasta siirtyy lisää nestettä pumpun pesään. Keskipakopumpun heikko puoli on se, että sen pesän ja imuputken tulee olla täynnä nestettä pumpun käynnistyessä. Pumppu ei siis ole itsestään imevä, joka tuottaisi haasteita nykyisellä jokivesipumppaamolla. Keskipakopumpun tuottoa on mahdollista säätää laajasti muuttamalla sen kierroslukua taajuusmuuttajan avulla tai vaihtamalla juoksupyörä. Keskipakopumppujen juoksupyörätyypit ovat avoin, puoliavoin ja suljettu juoksupyörä. Avoin juoksupyörä sopii nesteelle, jossa on enemmän epäpuhtauksia, kun taas suljettu juoksupyörä sopii puhtaammalle nesteelle. Suljettu juoksupyörä tuottaa paremman hyötysuhteen.

(Salla, 2010, s. 9–12; Pulli, 2009, s. 65–71)

Keskipakopumpun hyötysuhde on heikompi kuin uoppumpun, mutta sen tuottoa on mahdollista säätää laajemmin. Keskipakopumpun energiankulutus pysyy lähes samana riippumatta tilavuusvirran tuotosta.



Kuva 9. Tyypillinen keskipakopumppu. (Promaint, 2015)

7 TOTEUTUS JA OMA POHDINTA

Selvityksen jälkeen laadittiin tarjouspyyntö pumpusta, jonka tuottoarvot tulisi olla tilavuusvirran osalta välillä 50–400 litraa sekunnissa. Nostokorkeutta jokaisessa pumpupaustilanteessa tulisi olla vähintään 11 metriä. Tarjouspyyntö lähetettiin muutamalle pumpputoimittajalle ja saaduista tarjouksista valittiin kokonaisuutta katsoen sopivin pumppu Pori Energia Oy:n tarpeeseen.

Valitun uppopumpun tuottoarvot ovat hyvät, lukuun ottamatta pienintä valmistajan suosittelemaa minimivirtausta. Kyseisessä pumpussa se on noin 100 litraa sekunnissa. Veden tilavuusvirtaus vesijärjestelmässä on mahdollista pitää turvallisena pumpulle minimikierron avulla, esimerkiksi juoksuttamalla vettä apujäähdyttimen kautta tai päästämällä vettä vedenpuhdistamon ylijuoksusta takaisin jokeen. Tämän automatisointi tulee olemaan tulevaisuudessa erillinen projekti.

Valitun pumpun tuottoarvot sijoitettuna painehäviökäyrään. (Liite 6)

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli selvittää, että millainen pumppu Pori Energia Oy:n jokivesipumppaamolle tarvitaan, jotta se vastaa nykyistä veden tarvetta. Pumpun kartoitustyö on mielestäni onnistunut hyvin ja siitä on saatu tärkeää tietoa Pori Energia Oy:lle. Pori Energia Oy tulee mahdollisesti tulevaisuudessa päivittämään myös toisen tai kaikki kolme pumppua vastaaviksi. Työ oli opettavainen ja syvensi runsaasti osaamistani liittyen voimalaitoksen vesijärjestelmään, virtaustekniikkaan sekä erityyppisiin suuriin pumppuihin.

LÄHTEET

Bergius, Blomsten ja muita. (1975). (Kääntänyt ja Suomen oloihin soveltanut Leonard Ahti). (1978). Pumpputekniikka: nesteiden pumppaus. Insinöörilehdet.

Bürkert Finland Oy, (2022). Fluidiikkalaskuri. <https://www.burkert.fi/fi/Asiakaspalvelu-ja-varaosat/Tuki/Sanasto/Fluidiikkalaskuri>

Xylem Inc, (19.12.2013). Flygt Vertical Pumps PL7000, LL 3000, WC, YDD, WMC and VITSUBMERSIBLE AND WET PIT INSTALLATION. <https://docplayer.net/52706987-Flygt-vertical-pumps-pl7000-ll-3000-wc-ydd-wmc-and-vit-submersible-and-wet-pit-installation.html>

Hätinen, T. (8.11.2021). Microsoft Teams video keskustelu Afry Oy, Tenho Hätisen kanssa.

Hätinen, T. (7.2.2022). Sähköposti keskustelu Afry Oy, Tenho Hätisen kanssa.

Insta Oy. (27.5.2020). Puhtaampaa ja tehokkaampaa energiantuotantoa Aittaluodossa. <https://www.insta.fi/asiakastarinat/puhtaampaa-ja-tehokkaampaa-energiantuotantoa-aittaluodossa>

Keskimäki, J. (16.2.2022). Henkilökohtainen keskustelu Pori Energia Oy, kunnossapitomestarin, Jussi Keskimäen kanssa.

Pori Energia Oy. (2021). Tietoa yrityksestä. Haettu 2.11.2021 osoitteesta <https://www.porienergia.fi/yritys>

Pori Energia Oy. (2020). Toimintakertomus. Haettu 2.11.2021 osoitteesta <https://www.porienergia.fi/globalassets/yritys/vuosikertomus/2020-toimintakertomus-pori-energia.pdf>

Pori Energia Oy sisäinen materiaali. M-Files ID 34721 (2020) Haettu 27.12.2021

Pori Energia Oy sisäinen materiaali. M-Files ID 111116 (2019) Haettu 28.2.2022

Pori Energia Oy sisäinen materiaali. M-Files ID 144924, Versio 37 (2021) Haettu 2.11.2021

Pori Energia Oy sisäinen materiaali. M-Files ID 152345 (2021) Haettu 14.11.2021

Promaint lehti. (30.9.2015). Keskipakopumppujen mitoituksen ja käytön haasteet. <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Keskipakopumppujen-mitoituksen-ja-kayton-haasteet>

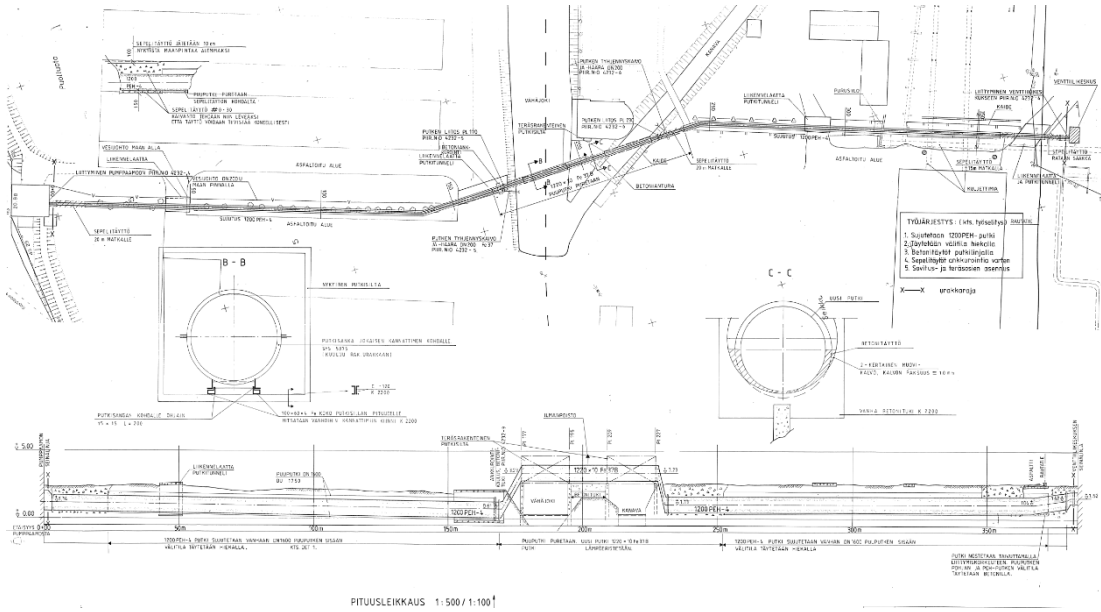
Pulli, M. (2009). Virtaustekniikka: vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Tammertekniikka.

Rantanen, J. (2019). Lämmitysverkoston laajentamisen virtaustekniset vaikutukset [AMK-opinnäytetyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019112923403>

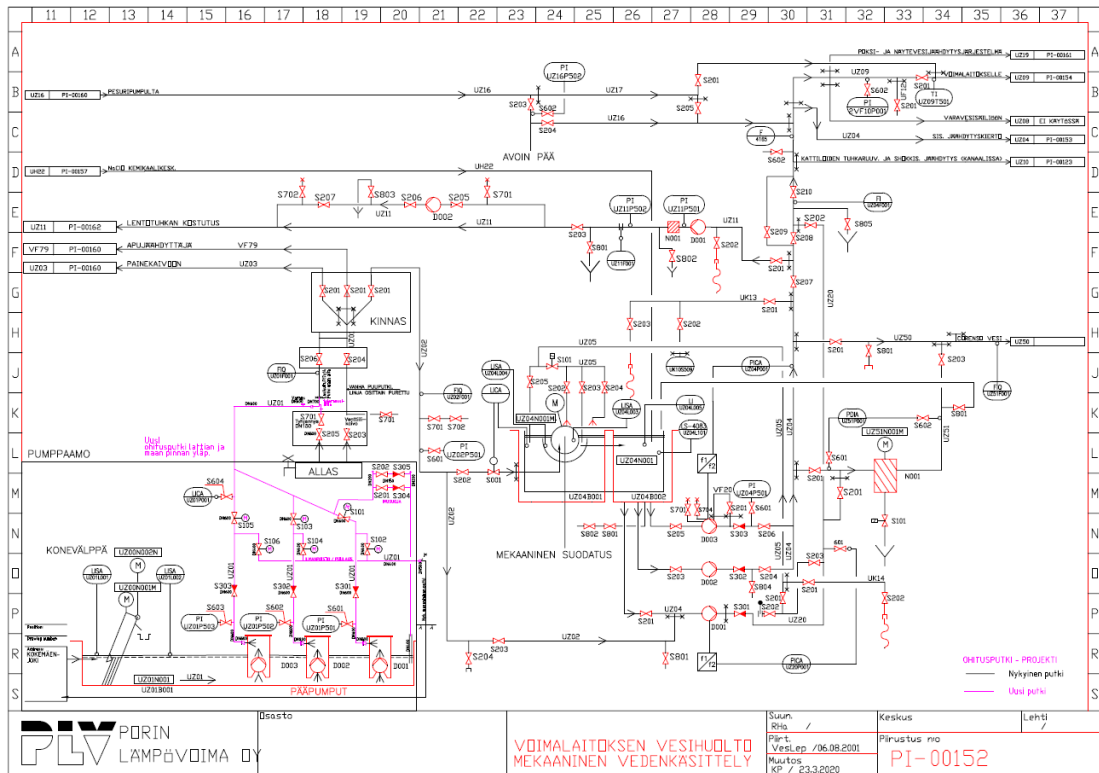
Salla, S. (2010). Keskipakopumpun huolto ja korjaus [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201005047707>

Sarvanne, H. & Borg, H. (1980). Sarlin uppopumppukirja. Sarlin.

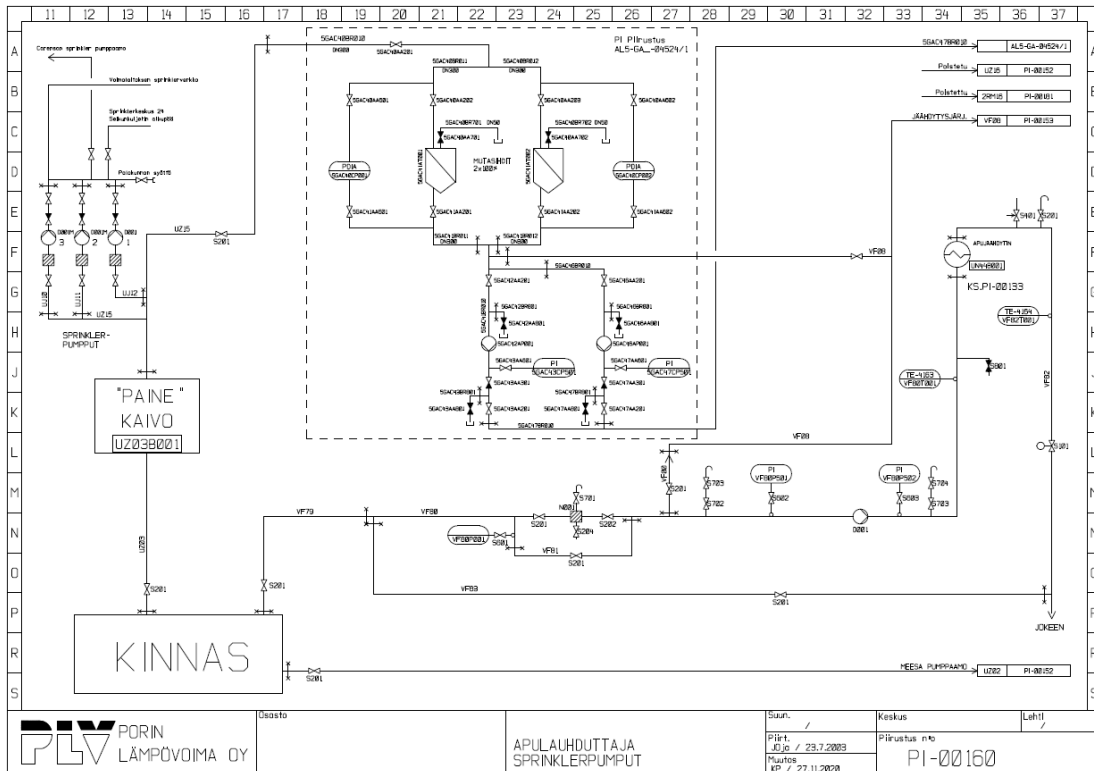
Silvast, J. (2013). Hiekkasuodattimen toiminnan kartoitus [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201305076904>



Piirustus putkilinjasta rantapumppaamolta venttiilikaivoon. (M-Files ID 152345, 2021)



PI-Kuva Voimalaitoksen vesihuolto ja mekaaninen vedenkäsittely. (M-Files ID 34721, 2020)



PI-Kuva Apulauhduttaja sprinkleripumput. (M-Files ID 34721, 2020)



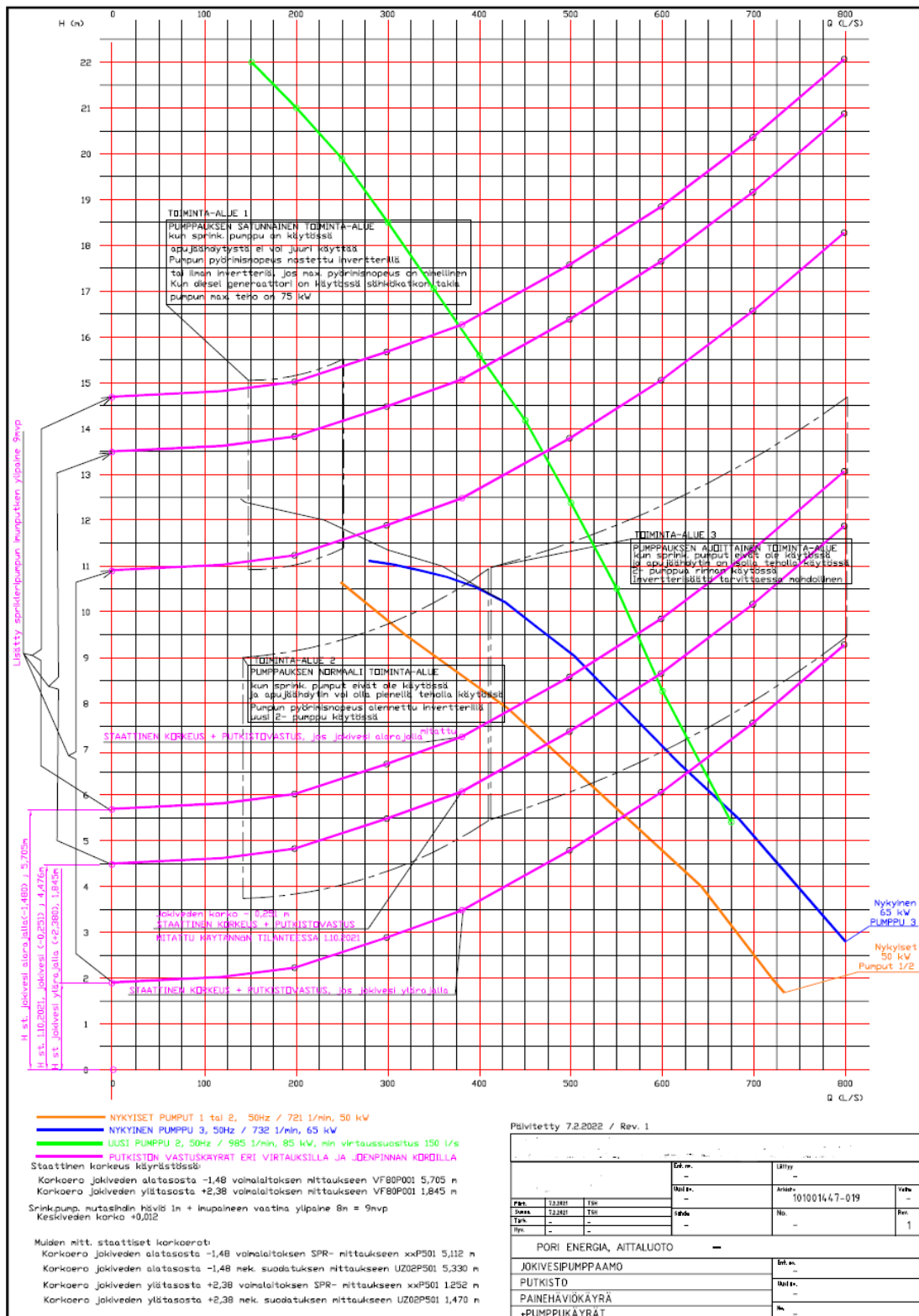
VESILÄHTEEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

<input checked="" type="checkbox"/> Lite 2 tarkastustodistukseen nro: 1471-2018-WL-01188059	
OMISTAJA / KOHDE:	Nimi: Pori Energia Oy
KOHTeen OSOITE:	Käyntiosoite: Aittaluodon voimalaitos Postitoimipaikka: Kuninkaanlahdenkatu 28100 PORI
VESILÄHDETIEDOT JA HUOMAUTUKSET:	<input checked="" type="checkbox"/> Yleinen vesijohto <input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> Vesisäiliö m ³ <input type="checkbox"/> Painesäiliö m ³ <input checked="" type="checkbox"/> Ehtymätön vesilähde Jokivesipumppaamo
SYÖTTÖPUTKIEN TIEDOT:	<input type="checkbox"/> Yhteisvirt. koko: <input type="checkbox"/> Suunta 1: koko: <input type="checkbox"/> Suunta 2: koko:
MOOTTORIN JA PUMPUN TIEDOT:	<input type="checkbox"/> Diesel käyttöinen pumppu nro: 1 käynnistyspaine [bar]: <input checked="" type="checkbox"/> Sähkö nimellisvirtaama [l/min]: 3000 r/min / teho [kW]: 55 nostokorkeus [bar]: 6,9 käyttötunnit [h]:
MITTALAITE:	K D d Pluskorko: Kiinteä mittalaite <input checked="" type="checkbox"/> Q=K(P1-P2) ^{0,5} P1/P2 nro: 1768 100 59 Platon <input type="checkbox"/> P% <input type="checkbox"/> 100 l/s=100%
MITTAUSARVOT:	Q [l/min] N [r/min] Pi [bar] Pk [bar] Pp [bar] P1 [bar] P2 [bar]
Mittalaitteet:	0 0,7 10,0 10,0 10,0
Pi nro:	1581 0,55 9,2 9,0 8,2
Pp nro:	2739 0,2 8,0 7,2 4,8
Pk nro:	3113 -0,6 6,5 6,0 2,9
Pk sijainti:	2739 -0,7 4,0 3,9 1,5
Pp sijainti:	
Pi sijainti:	
SUUNNITTELU-PERUSTEET:	Mitoituspiste 1, Q [l/min]: Paine [bar]: (edullisin) Mitoituspiste 2, Q [l/min]: 1265 Paine [bar]: 6,4 (epäedullisin) Nimellispiste, Q [l/min]: 3000 Paine [bar]: 6,2 (nostokorkeus+Pi)
Vesilähdekäyrä (l/min, bar, kW)	
MITTAUSAJANKOHTA:	Päivämäärä 21.5.2018 14:30
MITTAAJA:	Tuomas Huhtanen
PAIKKA, AIKA JA PÖYTÄKIRJAN TEKIJÄ	Pori 21.5.2018 Tuomas Huhtanen
Inspecta Tarkastus Oy PL1000 00581 Helsinki, Finland Puh. 010 521 600 asiakaspalvelu@inspecta.com	Katuosoite Sömästenkatu 2 00580 Helsinki, Finland www.inspecta.fi
Yritystunnus 2047308-3	



VESILÄHTEEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

	<input checked="" type="checkbox"/> Lite 2 tarkastustodistukseen nro: 1471-2018-WL-01188059						
OMISTAJA / KOHDE:	Nimi: Pori Energia Oy						
KOHTEN OSOITE:	Käyntiosoite: Aittaluodon voimalaitos						
	Postitoimipaikka: Kuninkaanlahdenkatu						
	28100 PORI						
VESILÄHDETIEDOT JA HUOMAUTUKSET:	<input type="checkbox"/> Yleinen vesijohto <input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> Vesisäiliö m ³ <input type="checkbox"/> Painesäiliö m ³ <input checked="" type="checkbox"/> Ehtymätön vesilähde: Jokivesipumppaamo						
SYÖTÖPUTKIEKIN TIEDOT:	<input type="checkbox"/> Yhteisvirt. koko: <input type="checkbox"/> Suunta 1: koko: <input type="checkbox"/> Suunta 2: koko:						
MOOTTORIN JA PUMPUN TIEDOT:	<input checked="" type="checkbox"/> Diesel käyttöinen pumppu nro: 2 käynnistyspaine [bar]: <input type="checkbox"/> Sähkö nimellivirtaama [l/min]: 3000 r/min / teho [kW]: 71 nostokorkeus [bar]: 6,9 käyttötunnit [h]: 323						
MITTALAITE:	K	D	d	Pluskorko:	Kiinteä mittalaite <input checked="" type="checkbox"/>	Q=K(P1-P2) ^{0,75}	
P1/P2 nro:	1768	100	59		Platon <input type="checkbox"/>	P% <input type="checkbox"/>	100 l/s=100%
MITTAUSARVOT:	Q [l/min]	N [r/min]	Pi [bar]	Pk [bar]	Pp [bar]	P1 [bar]	P2 [bar]
Mittalaitteet:	0		0,7		8,2	8,2	8,2
Pi nro:	1479		0,7		7,6	7,5	6,8
Pp nro:	2165		0,6		6,5	6,1	4,6
Pk nro:	2562		0,6		5,9	5,1	3,0
Pk sijainti:	2851		0,5		5,2	4,4	1,8
Pp sijainti:							
Pi sijainti:							
SUUNNITTELU-PERUSTEET:	Mitoituspiste 1, Q [l/min]:	0	Paine [bar]:	0,0 (edullisin)			
	Mitoituspiste 2, Q [l/min]:	1265	Paine [bar]:	6,4 (epäedullisin)			
	Nimellispiste, Q [l/min]:	3000	Paine [bar]:	7,4 (nostokorkeus+Pi)			
Vesilähdekäyrä (l/min, bar, kW)							
<p>The graph plots flow rate (Q) on the x-axis (0 to 3500 l/min) against pressure (Pi, Pk, Pp) on the left y-axis (0,0 to 9,0 bar) and power (kW) on the right y-axis (0,0 to 1,0 kW). A green curve represents the pump's performance. Data points are marked with various symbols: blue diamonds for series, red stars for measurement points, pink squares for measurement points, and purple stars for nominal points. A legend at the bottom identifies the series: Sarja1 (blue diamond), Mitoituspiste 1 (red star), Edellinen mittaus 1 (blue dashed line), Sarja6 (red circle), Mitoituspiste 2 (pink square), Edellinen mittaus 2 (green dashed line), and Pumpun teho (purple star).</p>							
MITTAUSAJANKOHTA:	Päivämäärä 21.5.2018 14:30						
MITTAAJA:	Tuomas Huhtanen						
PAIKKA, AIKA JA PÖYTÄKIRJAN TEKIJÄ	Pori 21.5.2018 Tuomas Huhtanen						
Inspecta Tarkastus Oy PL1000 00581 Helsinki, Finland Puh. 010 521 600 asiakaspalvelu@inspecta.com	Katuosoite Sömästenkatu 2 00580 Helsinki, Finland www.inspecta.fi			Yritystunnus 2047308-3			



Painehäviökäyrä, johon on sijoitettu uuden pumpun tuottoarvo. (Hätinen, 2022)